

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19700290
 研究課題名（和文）
 テクスチャー知覚のための高次受容野神経機構の解明
 研究課題名（英文） Analysis of high-order receptive field structures for the perception of texture-defined features.
 研究代表者
 田中 宏喜 (TANAKA HIROKI)
 大阪大学・生命機能研究科・助教
 研究者番号：40335386

研究成果の概要：

初期視覚野細胞が示す周辺抑制現象は、テクスチャーなどで定義される高次輪郭線の検出に役立つことが示唆されてきたが、これらの輪郭情報が細胞群全体でどのように表現されているかについてはよくわかっていない。これを調べるため、初期視覚野細胞の古典的受容野および抑制性周辺領域のマップ化を行った。新しい受容野再構成法を用いて解析した結果、多くの細胞において、2つの領域は互いに同じ向きに伸び、その向きや幅は細胞によって異なっていた。以上の結果から、周辺抑制は、高次の輪郭特徴を様々な方位や幅（周波数）に分解して表現する機能をもつと考えられる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	900,000	0	900,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,800,000	270,000	2,070,000

研究分野：神経科学

科研費の分科・細目：神経、筋肉生理学

キーワード：視覚、高次受容野、周辺抑制、テクスチャー輪郭

1. 研究開始当初の背景

初期視覚野の細胞は、光刺激に興奮応答する領域（古典的受容野とよばれる）を中央にもち、その周囲に呈示された刺激から抑制を受けることが知られている。しかしながら、この抑制の機能的役割については不明な点が多い。いくつかの研究は、模様(テクスチャー)やコントラストなどの変化で定義される輪郭線の検出に、この抑制が関与することを示唆してきた。実際、周辺抑制がこのような輪郭線の検出に寄与しているのかどうか、また

初期視覚野の細胞群全体として、これらの輪郭特徴をどのように表現しているのかを知るためには、周辺抑制がみられる空間部位および古典的受容野の空間形状を詳細に調べる必要がある。しかしながら、過去の研究では、古典的受容野の空間構造は詳しく調べられてきたものの、抑制領域の空間構造の詳細は調べられておらず、周辺抑制がテクスチャーやコントラスト輪郭の検出にどのように関与しているのか、また、これらの輪郭が細胞群によってどのように表現されているのかはわかっていない。

2. 研究の目的

本研究では、周辺抑制がテクスチャー輪郭線の検出に関与しているのかどうかを調べるために、古典的受容野および抑制性周辺領域を詳細に調べる研究を行った。まず、これらの領域を定量的にマップ化するための手法の確立を試みた。次に、その手法を実際にネコ初期視覚野細胞に適用し、細胞がどのような受容野構造をもつのかを調べた。

3. 研究の方法

(1)古典的受容野および周辺抑制空間領域の測定法

細胞の古典的受容野および抑制領域は、刺激の局所コントラスト（刺激の明暗の強さ）にたいする空間線形フィルターとしてモデル化できる。このような空間構造をここでは高次受容野(**high-order receptive fields**)と名づける。古典的受容野の領域は、高次受容野フィルターの興奮領域(**ON 領域**)として、周辺抑制領域は、高次受容野フィルターの抑制領域(**OFF 領域**)としてモデル化される。

モデル化された高次受容野フィルターの空間構造は次のように求めることができる。図1に示すさまざまな方位や幅をもつコントラスト変調刺激にたいするフィルター応答(応答強度および応答位相)は、高次受容野構造をフーリエ変換したものとみなすことができる。したがって、この応答を逆フーリエ変換することで、あるいは、高次受容野のモデルとして選んだ適切な空間関数に細胞応答をデータフィットすることで、高次受容野構造を求めることができる。細胞応答をフィルター応答ととらえて、以上の解析を施すことで、細胞の高次受容野構造を求めることができる。

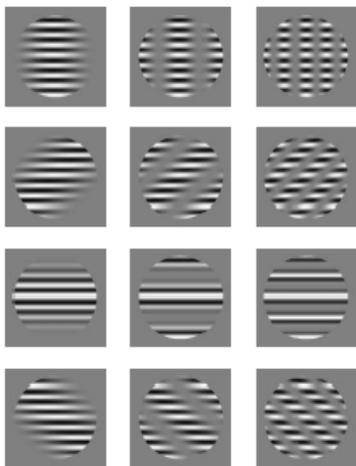


図1. コントラスト変調刺激

(2)生理学測定

上記の手法を麻酔不動化したネコV1野(17野)の細胞に適用して、古典的受容野および周辺領域の両方の構造を高次受容野として詳細に求める研究を行った。実験は大阪大学動物実験委員会およびNIHのガイドラインにしたがって行われた。細胞外電極をネコ17野に刺入し、細胞活動を単離する。次に、細胞の古典的受容野の基本特性が、通常の輝度グレーディング刺激やノイズ刺激を用いて測定された。次に輝度グレーディング刺激のサイズを変化させることで細胞が周辺抑制を示すかどうかを調べた。周辺抑制を示す細胞については、図1のコントラスト変調刺激を呈示して高次受容野の測定解析を行った。

4. 研究成果

(1)コントラスト変調刺激にたいする応答を測定した81個の細胞のうち、35個の細胞で高次受容野構造を再構成することに成功した。その結果、多くの細胞が、図2AからCのように、古典的受容野と周辺領域が同じ向きに伸びた高次受容野構造をもつことがわかった。このような構造は、細胞がテクスチャーの境界の向きを検出するのに役立つ。図2Dは同心円状の構造をもっており、このような構造は輪郭の方位検出に適せないが、このような構造をもつ細胞はあまり多くなかった。

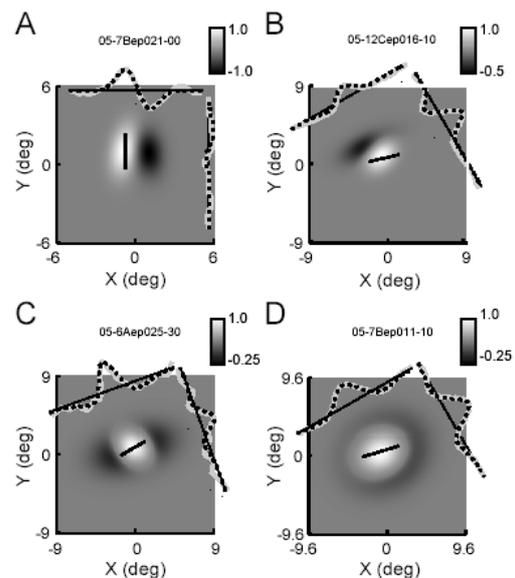


図2. 測定された高次受容野空間構造

(2)高次受容野構造が伸びる方位は、細胞によって縦、横、斜めなどさまざまであった(図3参照)。したがって、細胞群全体としては、さまざまな向きのテクスチャー輪郭を検出できる。また、高次受容野の幅も細胞によって異なり、さまざまな幅のテクスチャー輪郭を検出できることが示唆された。

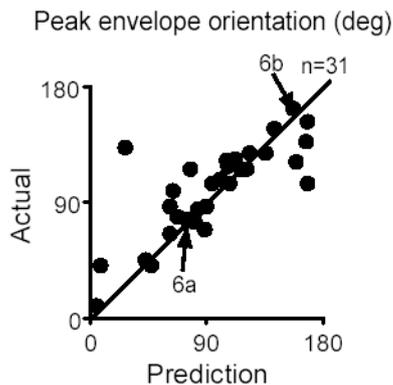


図 3. 高次受容野構造が伸びる方位を横軸に、細胞がテクスチャー輪郭にたいして最もよく応答する方位を縦軸にプロットしたもの。高次受容野が伸びる方位は0から180にまでわたって多岐に分布していた。

(3)実際、周辺抑制を示す細胞の多くが、テクスチャー輪郭の方位にたいして鋭い選択性をもつ(図4A)。細胞がもっとも強く反応する方位は、細胞によってさまざまであった(図4B)

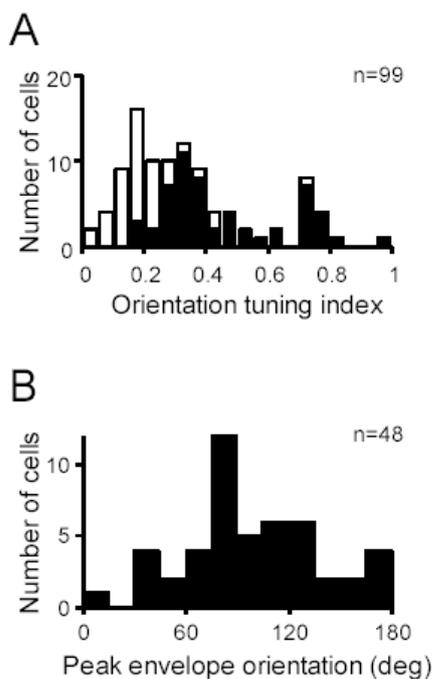


図 4. 高次受容野構造のテクスチャー輪郭にたいする方位選択性. A は方位選択性の強度(0から1の値をとる。強いほど1に近づく)をプロットしている。黒バーは、選択性が統計的に有意であることを表している。約半数の細胞が統計学的に有意な方位選択性を示した。Bは、テクスチャー輪郭にたいする細胞の最適方位を示している。図3と同様、最適方位は0から180にまでわたって多岐に分布していた。

(4)また、図5Aに示すように、多くの細胞がテクスチャー輪郭の幅(空間周波数)に選択性を示し、その最適周波数は、図5Bに示すように細胞により様々であった。一方で、これらの細胞はテクスチャー輪郭の動きには選択性をもたないことがわかった。

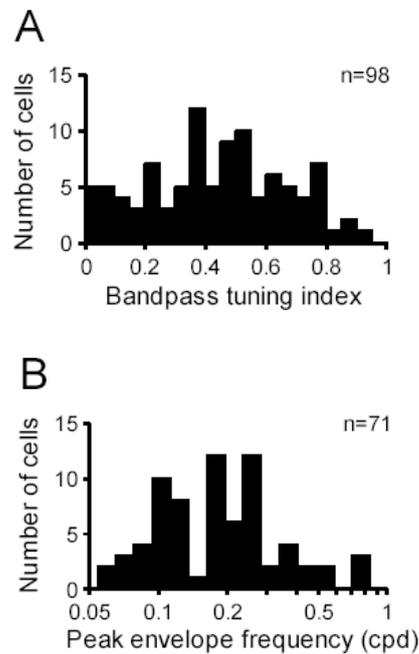


図 5. テクスチャー輪郭にたいする空間周波数感受性. 感受性の強度(A) および最適空間周波数(B)

以上の結果は、周辺抑制をもつ初期視覚野の細胞群がテクスチャーの境界情報を系統的に伝達しうることを示唆している。この成果は、2007年度、2009年度の神経科学学会の他、2008年度北米神経科学学会で発表した。そして、2009年(電子版は2008年)に神経生理学において伝統ある標準的雑誌であるJ.Neurphysiology誌に掲載された。本研究の成果の一部は未発表であり、現在それに関する論文を準備している。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕 (計 1 件)

Tanaka H., and Ohzawa, I. Surround Suppression of V1 Neurons Mediates Orientation-Based Representation of High-Order Visual Features. J. Neurophysiol., 101, 1444-1462 (2009) 査読有

〔学会発表〕 (計 2 件)

① Tanaka, H. & Ohzawa, I. Parallel elongated center-surround organizations of V1 neurons revealed by high-order receptive field analysis. Soc Neurosci., Washington D.C. (2008. 11/15-19)

② Tanaka, H. & Ohzawa, I. Form representation via center-surround organizations of V1 neurons revealed by high-order receptive field analysis. 日本神経科学学会, 横浜 (2007. 9/10-12)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 宏喜 (TANAKA HIROKI)

大阪大学・生命機能研究科・助教

研究者番号：40335386